VACUUM TUBE

小型G管に合わせたコンパクトな設計

6L6GAY シングルパワーアンプ

長島　勝 NAGASHIMA Katsu

6L6Gよりひと回り小さなG管6L6GAYのサイズを生かしたコンパクト設計のシングルアンプ．初段は6267（EF86）の5極管接続で，6L6GAYとはCR結合というシンプルな構成．NFB量による特性の変化を実測したほか，出力管のスクリーングリッド回路の検討によるノイズ打ち消しも実験した．出力は約6.5W，周波数特性は7.2Hz～48.8kHz（－3dB）．分解能の高い，聴きやすいサウンドで，整流素子をシリコン（1N4007）からSiC（SCS105KG）に変更することで，さらに分解能が改善された．

6L6GAYを生かす

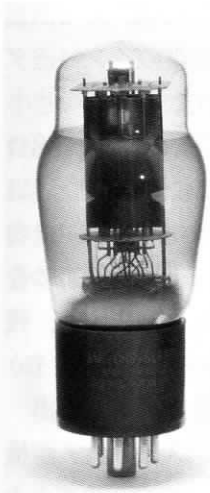
秋葉原の東京ラジオデパート3階のサンエイ電機で，軍箱入りのシルバニア製6L6GAYを見付けました．6L6Gの通常サイズST-16よりもひと回り小型で，6V6Gと同じST-14サイズの6L6です．シルバニアは，外形の小さな真空管を作ることがしばしばあります．通常の黒ベースが6L6GA，ベースが薄茶色いマイカノールなのが6L6GAYです．

6L6GAYは，この後，耐振性を上げた6L6WGAに変化していったところから，航空機などのために開発されたのではないかと推察されます．ガラスはうっすらとカーボンスートされ，その中に黒化されたプレートが見えます．

プレート損失は6L6Gと同じく19Wと小さいためか，格好がいい真空管なのに，あまり人気がありません．ビーム管の原点ともいえる6L6はバリエーションが多いので，6L6族を**表1**にまとめました．ただし，トッププレートの807や，ヒーター電流の大きいKT66は入れませんでした．6L6Gの規格を**図1**に示します．

表1を見てのとおり，最初19Wだったプレート損失は，7027Aの35Wまで増加しています．最大プレート電圧も360Vから600Vまで上がり，スクリーングリッド規格も2.5W/270Vから5W/500Vと，それぞれ倍近くまで増大しています．それだけにとどまらず，トッププレートの807から6B-G6Gを経てヒーター電力を増し，水平出力管に変化していきました．

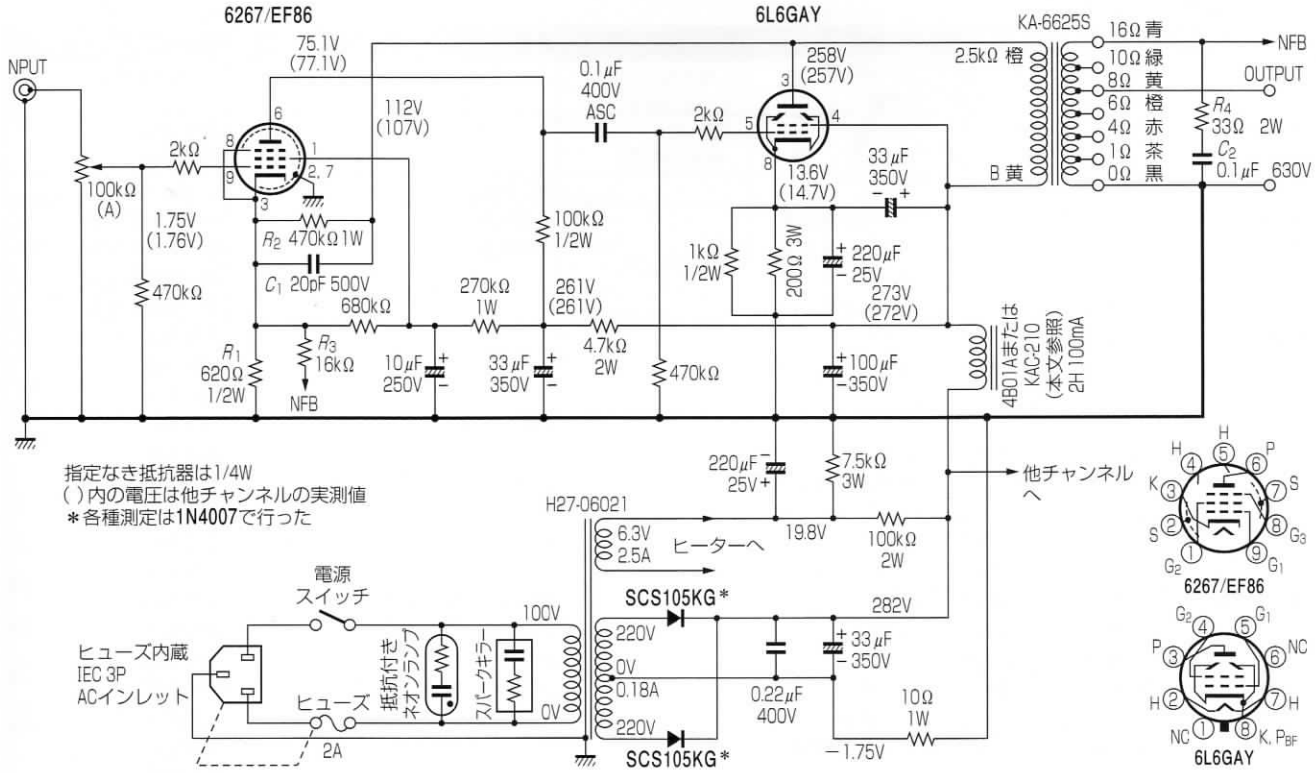
プッシュプル最大出力は，6L6と最終段階の7027Aでは大きな差があります．プッシュプルの



シルバニア製6L6GAY．カーボンスートは薄く，内部構造がよく見える

［表1］　6L6族の規格の比較

	プレート損失〔W〕	プレート最大電圧〔V〕	g_2損失〔W〕	g_2最大電圧〔V〕	形状	ベースコネクション	
6L6	19	360	2.5	270	メタル MT-10	7AC	設計中心定格
1614	21	375	3.5	300	メタル MT-10	7AC	CCS
6L6G	19	360	2.5	270	ST-16	7AC	設計中心定格
6L6GB	22	400	2.8	300	T-12	7AC	設計最大定格
6L6GC	30	500	5	450	T-12	7AC	設計最大定格
6L6WGA(5932)	19	360	2.5	270	T-12	7AC	設計中心定格
6L6WGB	26	400	3.5	300	T-11	7AC	絶対最大定格
7027	25	450	3	400	T-12	8HY	設計中心定格
7027A	35	600	5	500	T-12	8HY	設計最大定格
5881	23	400	3	400	T-11	7AC	設計最大定格
7581	30	500	5	450	T-12	7AC	設計最大定格
7581A	35	500	5	450	T-12	7AC	設計最大定格
5B255M	25	600	4.5	300	ロクタル管		不明



[図6] 本機の回路（片チャンネルは省略）

スクリーングリッドへの電源は，デカップリングのところから，270kΩで供給されています．この270kΩが1Wなのは，ラグ端子間が長いためで，熱的には1/2Wで十分です．ラグ端子を1つ詰めればいいのですが，構想段階で6BQ5シングルA_2級アンプ（2013年11月号）で使ったカソード-カソードのPFBを考えていた名残です．実験したところ，1Ωでも3dB以上のPFBがかかってしまい，1Ω以下の抵抗の購入も難しいので取りやめました．

680kΩのブリーダー電流をカソードに流して安定させています．出力段のプレートから直流を切らずにNFBをかけているので，その分，カソード抵抗を下げてゲインを上げてあります．そのため，本来ならば1kΩになるカソード抵抗が半分近くまで下がっています．

スクリーングリッドのバイパスコンデンサーは10μF/250V，プレート負荷抵抗はデールの1/2W型にしました．1W型のカーボン抵抗にするためにはスペースが足りなかったからです．

カップリングコンデンサーはASCのX363型にしました．MTBやマロリーにすると，もっと柔らかな音質になります．

(2) 出力段

出力段のグリッドリーク抵抗は470kΩにしました．信号は2kΩを経て，6L6GAYのコントロールグリッドに入ります．

カソード抵抗は200Ω/3Wの酸化金属皮膜抵抗と1kΩのカーボン抵抗を並列にして合成抵抗値167Ωにしています．カソードバイパスコンデンサーにはバイアス電圧14Vかかるので，ディレーティングして，16V品ではなくニチコンKZの220μF/25Vを使いました．

プレートから直流を切らずに初段カソードに470kΩ/1Wで6.0dBのNFBをかけています．このプレート-カソードNFBも，直流を切らないほうが音抜けがいいようです．

熱容量だけを考えると1/2W型でも十分ですが，最大出力時にはピーク値で500V近い電圧がかかるので1W型としました．この抵抗にパラレルに20pFのディップマイカコンデンサーを位相補正として入れています．このコンデンサーの耐圧にも注意してください．

6L6の負荷抵抗値は2.5kΩです．出力トランスのB電源側からカソードに33μF/350Vが入っています．これはスクリーングリッドのリップル打ち消しのためです．詳細は後述します．

出力トランスの2次側0Ωと16Ω端子間に，位相補正として33Ω＋0.1μFを入れています．

(3) 電源回路

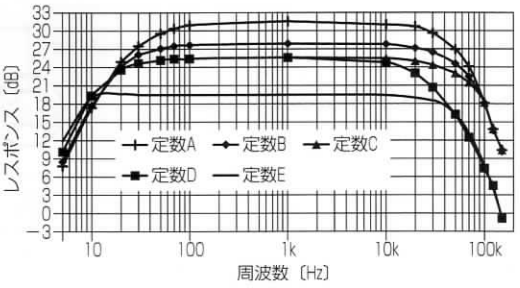
当初は，1N4007で交流220Vを両波整流していました．

コンデンサーインプットのコンデンサーは33μF/350Vを使いま

［表3］　測定した6条件

	R_1	R_2	R_3	R_4	C_1	C_2	ゲイン	備考
定数A	680Ω	1MΩ	—	—	—	—	31.7dB	バイアスが変化しないようR_2を出力段電源に接続
定数B	680Ω	1MΩ	—	—	—	—	28.0dB	R_2は6L6のプレートに接続
定数C	620Ω	470kΩ	—	—	—	—	25.7dB	
定数D	620Ω	470kΩ	16kΩ	—	20pF	—	19.6dB	
定数E	620Ω	470kΩ	—	—	20pF	—	25.7dB	
定数F	620Ω	470kΩ	16kΩ	33Ω	20pF	0.1μF	19.6dB	

—はオープン



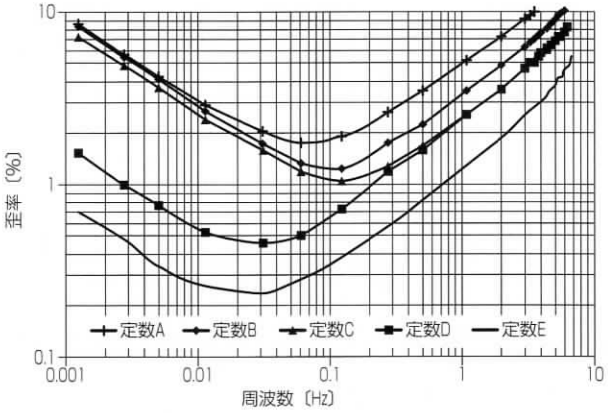
［図8］　表3の条件による周波数特性の違い（8Ω）

した．このコンデンサーにパラレルに入っている0.22μFはパルス性のノイズを取るためで，アース側に入っている10Ωは，パルス性のノイズを電源トランス側に閉じ込めるための抵抗です．

その後，左右別の2Hのチョークコイルに入ります．作例同様，2Hのチョークコイルを使う場合は，平滑回路の33μFを100μFに増やして電源ハムを低減したほうがいいと思います．

チョークコイルを出た後，それぞれ100μFをアース間に入れてあり，そこから出力トランスとスクリーングリッドに電源を供給しています．初段には4.7kΩを通して33μFでデカップリング後に供給しています．

ヒーターにはバイアスをかけてヒーターハムを低減しています．



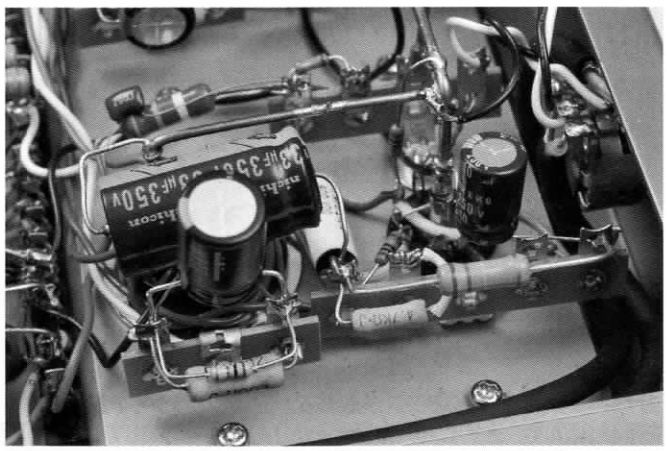
［図9］　表3の条件による歪率特性の違い（8Ω）

初段管ソケットまわりのようす．左のラグ板の取り付け部分がシャシー1点アース

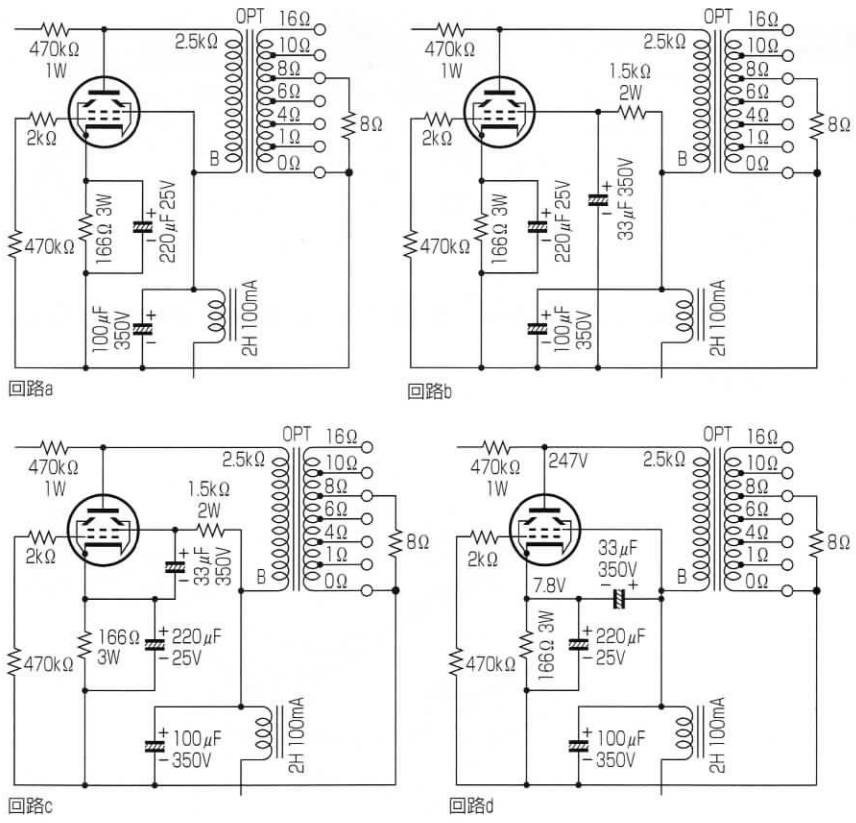
(4) SiCの導入

整流ダイオード1N4007で，各種特性まで測定しましたが，その後，ロームのSiCショットキーバリアダイオードのSCS105KGCに交換しました．

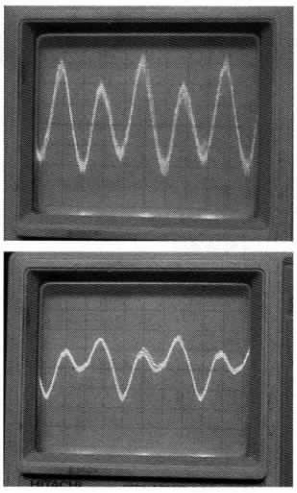
TO-220AC型パッケージのダイオードのトランスへの実装方法を**図7**に示します．



1チャンネル分の増幅部の部品配置．カソードバイパスの220μFを立てて撮影．コンデンサーの下にも抵抗器が配置されている



［図10］　出力管スクリーングリッドに対する電源ノイズ打ち消し回路



(a) 右チャンネル

(b) 左チャンネル

［写真1］　残留ノイズの波形（8Ω，5ms/div）

調整による定数決定

無帰還の状態からデータを取っていき，カットアンドトライで定数を決定しました．実験した定数条件を**表3**に，それぞれの周波数特性と歪率特性を**図8**，**9**に示します．

組み上がり時（定数A）のゲインは31.7dBでした．最初にR_2を1MΩにしてP-K負帰還をかけました（定数B）が，3.3dBしかかからなかったので，帰還抵抗を470kΩに下げました（定数C）．このためにバイアスが変化するので，初段のカソード抵抗も680Ωから620Ωに変えました．このとき，裸ゲインもわずかに上昇しているとは思いますが，測定はしていません．

その後，約6dBのP-K負帰還をかけることができました．そのままでは容量負荷時に不安定になってしまうので，高域のゲインを落とす必要があります．そのために470kΩにパラレルに20pFのディップマイカコンデンサーを入れて高域を落としました（定数D）．

そこへ6.1dBのループNFBをかけ（定数E），その後，出力トランス2次側に33Ωと0.1μFの位相補正をかけました（定数F）．この定数Fを最終的に採用しました．

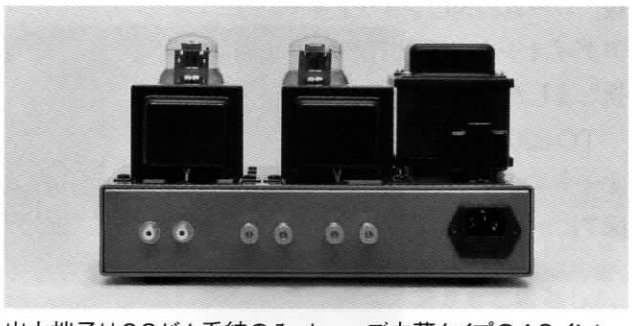
電源ノイズの打ち消し

測定をしている途中で，電源ハムによるノイズが多いのに気付きました．チョークコイルのインダクタンスが小さかったのです．

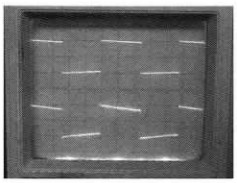
そこで，6080シングルアンプ（2014年9月号）で採用した電源ハム打ち消しを出力管のスクリーングリッドに対して試みました（**図10**）．

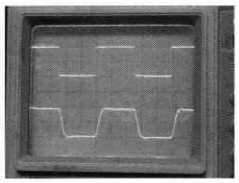
6L6のμ_{g2}は8であり，カソードバイパスコンデンサーは220μF÷8＝27.5μFとなるので，33μFにしてみました．現実には，6L6のプレートから初段カソードに

出力トランスの高さとバランスが取れるよう，サブシャシーで真空管を落とし込んで，デザインの重心が上がりすぎないようにしている

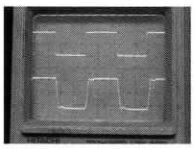


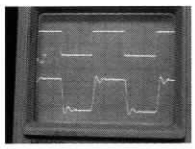
出力端子は8Ωが1系統のみ．ヒューズ内蔵タイプのACインレットでスペースを節約している

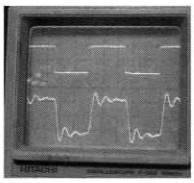

(a) 100Hz (2ms/div)

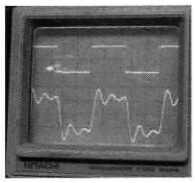

(b) 10kHz (20μs/div)

[写真4] 8Ω抵抗負荷の方形波応答（上：入力，下：出力，入力0.1V/div，出力1V/div）

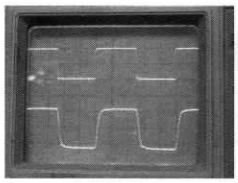

(a) 0.047μF

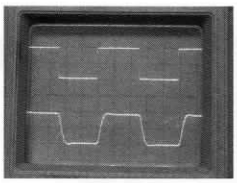

(b) 0.1μF

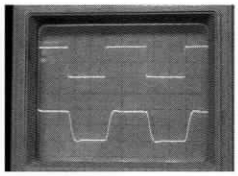

(c) 0.22μF

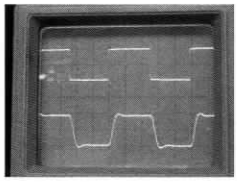

(d) 0.47μF

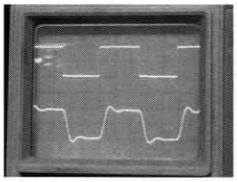
[写真6] 容量負荷の10kHz方形波応答（上：入力，下：出力，入力0.1V/div，出力1V/div，20μs/div）


(a) 無負荷


(b) 8Ω+0.047μF


(c) 8Ω+0.1μF


(d) 8Ω+0.22μF


(e) 8Ω+0.47μF

[写真5] 8Ω抵抗負荷+容量負荷の10kHz方形波応答（上：入力，下：出力，入力0.1V/div，出力1V/div，20μs/div）

入出力特性（**図11**）を見ると，1kHzのクリッピングポイントは6.5W程度です．クリッピングポイントははっきりしていて，いきなり崩れます．頭がスパッと切れて，グリッド電流が流れ，ノッチング歪みも出てきます．

1V時の周波数特性（**図12**）は，－1dBでは9.1Hz～29.6kHz，－3dBでは7.2Hz～48.8kHzです．

歪率特性（**図13**）の最低値は，10kHz，0.5V時の0.23％でした．1kHzと10kHzは同じようなカーブを描きます．100Hzが少し悪くなっているのは残留ハムの影響です．

1kHz正弦波の歪み成分観測を**写真2**に示します．

リサジュー図形（**写真3**）を見る限り，クリッピングポイントまでほとんど2次高調波歪みが多いことがわかります．

ダンピングファクター（**図14**）は1kHzで3.06でした．10～50Hzの低下は，出力管カソードの220μFを大きくすればもっと少なくなります．10Hz以下でまた上がっているのは，インダクタンスが小さく低域では巻線の抵抗だけになるためでのようです．25kHzあたりのディップは，位相が回ってゲインが上がっているのかもしれません．

チャンネルセパレーション特性（**図15**）は，入力ショートで1kHz，1Vで63dBほどでした．しかし，これは残留ハムの電圧を測っているようなもので，実際は，1kHzであと10dBくらいは良い値だと思います．

8Ω抵抗負荷の方形波応答を**写真4**に示します．

100Hzはサグが見られますが，まずまずでしょう．10kHzにはオーバーシュートが認められますが，たいしたことはありません．

10kHzの8Ω抵抗負荷+容量負荷の方形波応答（**写真5**）では，容量が増えるにつれてオーバーシュートが大きくなりますが，リンギングには至りませんでした．無負荷では，オーバーシュートは見られませんでした．

10kHzの容量負荷のみの方形波応答（**写真6**）では，0.047μFでオーバーシュートの後にへこみが出来てきます．0.1μFからはリンギングが起こっています．0.47μFまで増やしましたが，リンギングが大きくなるだけで，発振には至りませんでした．

消費電力は71Wで，消費電流は0.82Aになりました．1Aのヒューズを入れてみましたが，ラッシュカレントで切れてしまいました．そこでヒューズは2Aとしています．スローブローヒューズならば1Aでよさそうです．

これらの測定には，パナソニックのオーディオアナライザーVP-7720A，日立のオシロスコープV-552，サンワのデジタルテスターPC500，トリオのミリボルトメーターVT-121などを用いました．

ヒアリング

分解能が良く，聴きやすい音色でした．シリコンダイオードをSiCに換装したところ，分解能がさらに上がり，ギターの楽器のタッチがよくわかるようになりましたが，少し高域が強調されるように感じました．ダイナミックレンジも広くなったように感じられます．ダイオードの交換だけなので，諸特性は改めて測定しませんでした．

また，手元にソヴテック5881があったので差し替えてみましたが，音が固く，あまり好みではありませんでした．